

1 Introduction

Les matériaux hétérogènes (par exemple des composites à inclusions naturelles ou synthétiques) font partie intégrante de notre environnement. Ces matériaux constitués de plusieurs phases distinctes ont la particularité d'être difficiles à modéliser analytiquement en raison de leur hétérogénéité. L'approche classique consiste donc à les étudier à l'aide d'essais expérimentaux en laboratoire. Cette approche est parfois très coûteuse et doit être effectuée à chaque fois qu'on souhaite étudier une nouvelle formulation. Une nouvelle approche, rendue possible par la puissance de plus en plus grande des ordinateurs, consiste à :

«Étudier le matériau de façon numérique.»

Ce projet fait l'objet d'une entente de cotutelle entre l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) et l'Université de Bretagne-Sud (UBS). L'Équipe de Recherche en Intégration CAO-Calculs (ERICCA) de l'UQTR a développé une plate-forme numérique permettant d'aborder les différents aspects de la modélisation numérique du matériau. Le Laboratoire d'Ingénierie des MATériaux de Bretagne (LIMATB) de l'UBS se spécialise dans la caractérisation du comportement des matériaux hétérogènes.

2 Objectif

L'objectif de ce projet est de représenter numériquement la microstructure du matériau à étudier selon les propriétés intrinsèques de ses constituants et la disposition de ceux-ci. Le matériau sera représenté par une série de Volumes Élémentaires Statistiques (VES) afin de former un Volume Élémentaire Représentatif (VER) qui sera homogénéisé afin d'obtenir les propriétés apparentes telles que les modules de compressibilité et de cisaillement en élasticité.

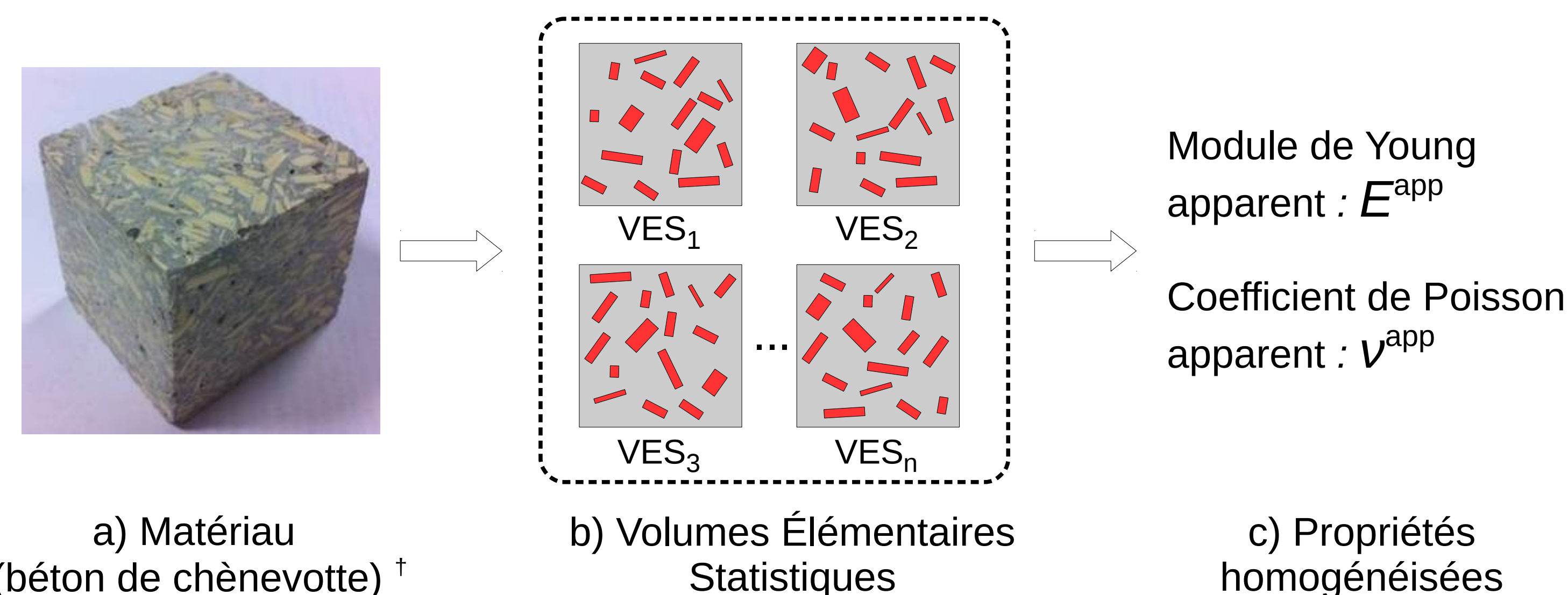


Figure 1 : Homogénéisation

4 Conclusions et perspectives

- Étape 1 réalisée préalablement à l'UBS
- Étapes 2 et 4 réalisées
- Étape 3 en cours
- Confrontation des résultats numériques avec des données expérimentales à l'UBS de septembre 2016 à août 2017

5 Remerciements

Les auteurs remercient le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG), la Fondation de l'UQTR et le Ministère de l'Éducation et de la Recherche Français pour leur soutien financier.

3 Méthodologie d'étude de VES

Étape 1 :

Le matériau est analysé afin d'obtenir les distributions statistiques des positions et des orientations des inclusions pour une fraction volumique donnée.

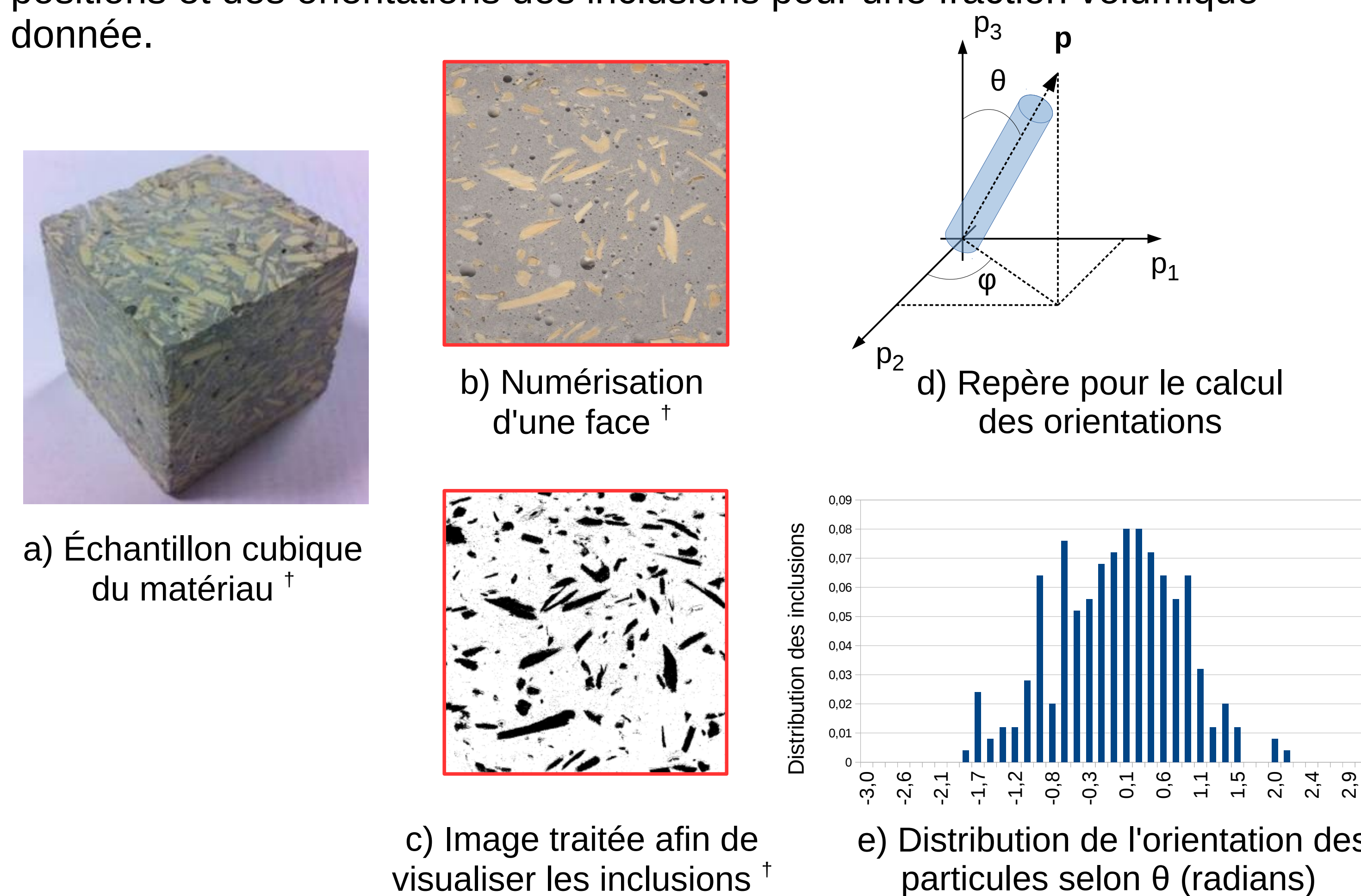


Figure 2 : Analyse du matériau

Étape 3 :

Le modèle CAO obtenu à partir de la simulation de la dynamique des corps rigides est découpé en éléments volumiques à l'aide d'une procédure de maillage automatique qui tient compte de la géométrie des constituants et de leur comportement mécanique.

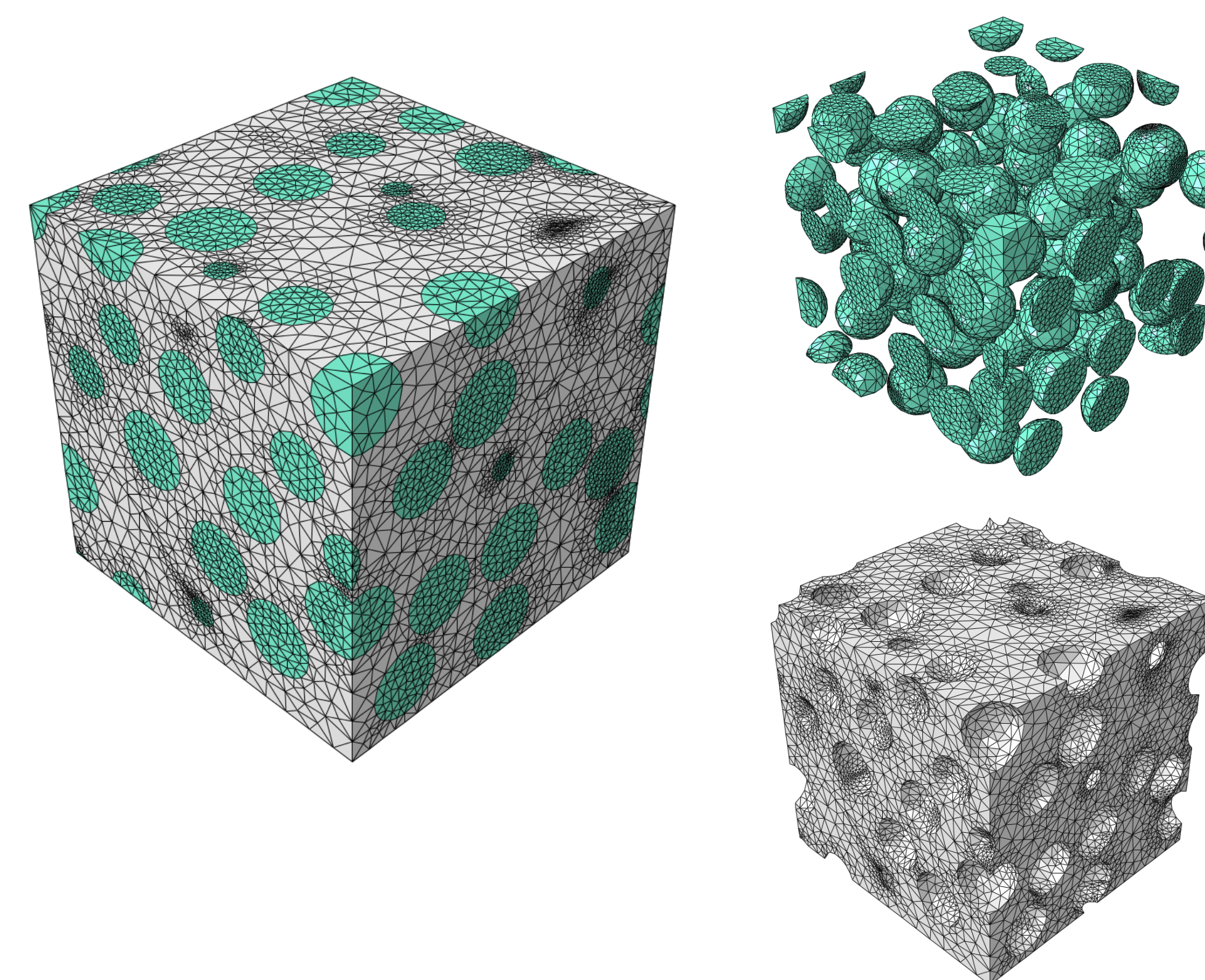


Figure 4 : Maillage de VES [†]

Étape 2 :

Un tirage aléatoire des positions et orientations des inclusions est effectué dans l'environnement d'un logiciel de simulation de dynamique des corps rigides (ChronoEngine™). Les inclusions se cognent les unes contre les autres comme si on les brassait dans une boîte.

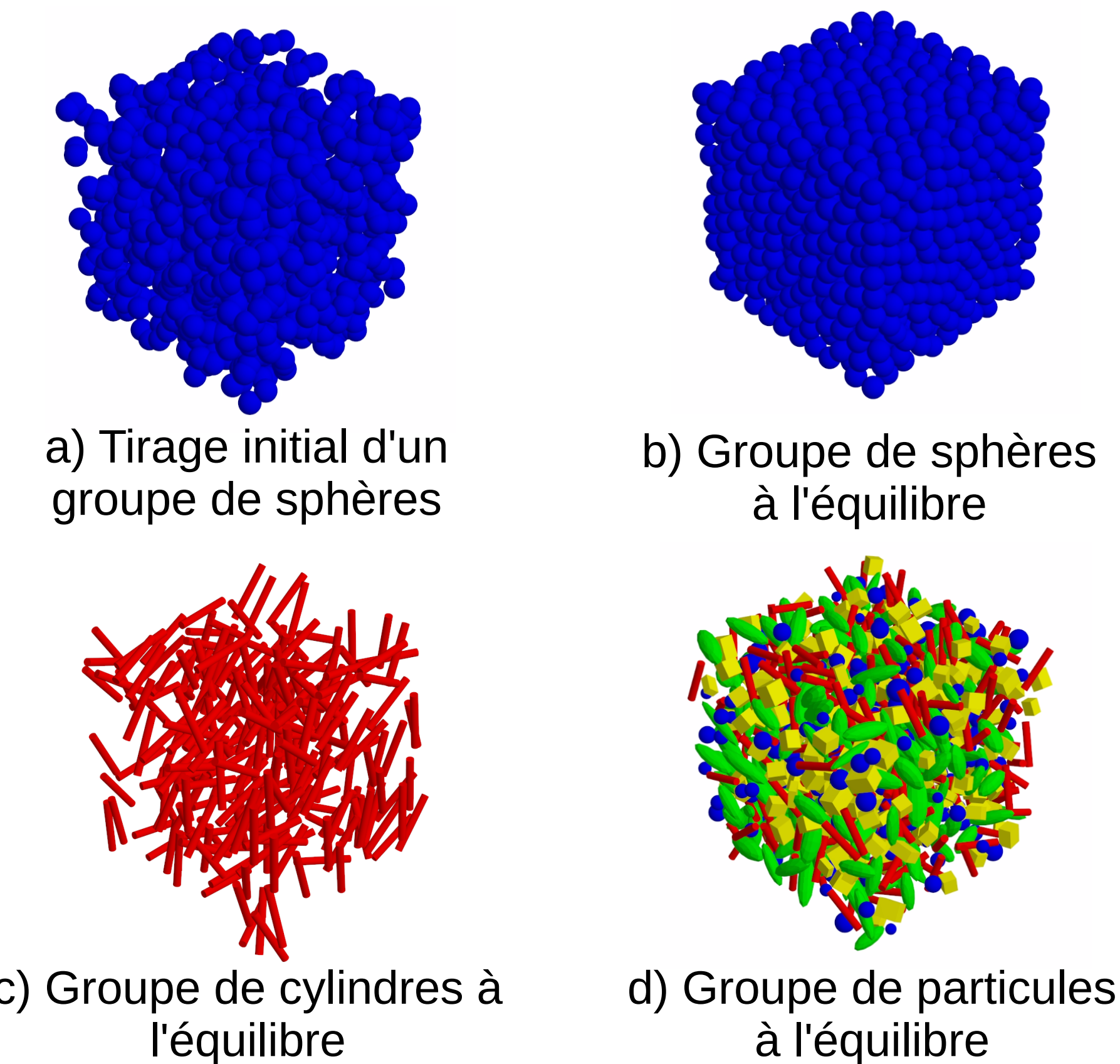


Figure 3 : Répartition des inclusions

Étape 4 :

Les propriétés mécaniques des constituants sont affectées aux éléments volumiques respectifs et des conditions aux limites de blocage et de chargement sont affectées aux frontières du VES. Une étude par éléments finis est exécutée pour connaître les états de contrainte et de déformation de chaque élément et une procédure d'homogénéisation est ensuite appliquée afin d'obtenir l'état de contrainte et de déformation moyen du VES.

	Chargement purement sphérique	Chargement purement déviatorique
Tenseur des déformations	$\underline{\underline{E}}^0 = \begin{bmatrix} E^0 & 0 & 0 \\ 0 & E^0 & 0 \\ 0 & 0 & E^0 \end{bmatrix}$	$\underline{\underline{E}}^0 = \begin{bmatrix} 0 & E^0 & E^0 \\ E^0 & 0 & E^0 \\ E^0 & E^0 & 0 \end{bmatrix}$
Tenseur des contraintes	$\underline{\underline{\Sigma}}^0 = \begin{bmatrix} \Sigma^0 & 0 & 0 \\ 0 & \Sigma^0 & 0 \\ 0 & 0 & \Sigma^0 \end{bmatrix}$	$\underline{\underline{\Sigma}}^0 = \begin{bmatrix} 0 & \Sigma^0 & \Sigma^0 \\ \Sigma^0 & 0 & \Sigma^0 \\ \Sigma^0 & \Sigma^0 & 0 \end{bmatrix}$
Modules de compressibilité et de cisaillement apparent	$K^{app} = \frac{Tr(\underline{\underline{\Sigma}})}{3Tr(\underline{\underline{E}})}$	$G^{app} = \frac{1}{3} \left(\frac{\Sigma_{yz}}{2E_{yz}} + \frac{\Sigma_{xz}}{2E_{xz}} + \frac{\Sigma_{xy}}{2E_{xy}} \right)$
Module de Young et coefficient de Poisson apparents	$E^{app} = \frac{9 K^{app} G^{app}}{3 K^{app} + G^{app}}$	$\nu^{app} = \frac{3 K^{app} - 2 G^{app}}{2 (3 K^{app} + G^{app})}$

Figure 5 : Conditions limites et homogénéisation [†]

6 Références

- [†] Thèse de doctorat, *Modélisation multi-échelles des propriétés thermiques et élastiques de composites chaux-chanvre*, T. H. Pham, Université de Bretagne-Sud, 2014
- [‡] Thèse de doctorat, *Modélisation multi-échelles du comportement thermo-élastique de composites à particules sphériques*, F. Di Paola, École Centrale Paris, 2010